第 27 卷　第 3 期　2015 年 5 月
腐蚀科学与防护技术
CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY
Vol.27　No.3　May　2015

经验交流

输油管道缺陷修复技术研究

孙 洪

中国石化管道储运有限公司天津输油处 天津 300451

摘要: 阐述了在役管道缺陷修复技术措施，解决管道安全运行中存在的一些问题，可以为在役管道的腐蚀防护及缺陷修复方案提供一定的参考。

关键词: 在役管道　缺陷　修复技术

中图分类号: TE983　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002-6495(2015)03-0310-03

1 背景

中国石化管道储运分公司负责运营管理的长输原油管道已覆盖华北、甬沪宁和长江中下游地区 19 家炼化企业，管道全长近 7000 km，覆盖主要炼化企业，降低了原油运输成本，上个世纪 70，80 年代建成投用的长输原油管道大部分使用年限已经超过 30 a，由于管道腐蚀、打孔盗油等问题，已经影响到输油生产和管道安全，因而对在役管道腐蚀机理进行分析，剖析问题的根源，采取有效的缺陷修复技术措施非常必要。

管道腐蚀缺陷、盗油孔、裂纹等缺陷产生以后，都必须立即进行修复，才能保证管道输油生产的运行安全。在修复之前，需要对管道腐蚀、盗油孔、裂纹等不同缺陷状况进行评估，研究相应状态下管道修复技术的有效性、长期性、安全性和可靠性，从而确定最适合的修复方案和修复技术[1]。本文介绍了役管道缺陷修复技术措施，可以为在役管道的腐蚀防护及缺陷修复方案提供参考。

2 在役管道缺陷修复技术分析

管道缺陷修复技术主要包括换管、补板/补焊、套筒、夹具注环氧树脂修复、盗油孔缺陷修复等方法，以下主要针对典型的缺陷修复技术进行分析。

换管修复可以一次解决修复管段所存在的问题。然而，换管修复施工作业时生产运营单位必须停产，且牵扯到安全等问题，换管是成本最高的修复方案。但是当需要连续修复较长距离的管道时，或者管道存在包括材质在内的多个问题时，换管可能是最优的选择。

大多数管道腐蚀的缺陷修复方法是采用补板或者补焊的修复技术，但在运行的管道上进行焊接作业存在较高的风险，这些风险包括管壁烧穿/爆裂的风险，还可能造成焊道下裂纹[2,3]。

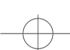
ASME 标准对补板或补焊修复技术的应用限制作了明确说明：ASME B31.4 (危险液体管道) 用于 NTS12 或更低等级，用于 API42 或更低等级；修复缺陷的长度不能超 50 mm，ASMEB31.8 要求修复缺陷的长度不能超过 1/2 管道周长。通过对标准的比对，补板/补焊对于小型的缺陷修复还是适用的。

套筒由两半套筒组成或由两块适当弯曲的钢板组成，必须将端头焊接到管道上，一般采用平接-焊接的边焊缝。在维修大范围的金属损失缺陷区域时，由于要求将加强套焊接到管线上，可能会导致严重腐蚀减薄区域出现烧穿，因此，加强套两侧必须超出缺陷部位各 100 mm。应用实践表明，加强套越长，与管线的配合就越困难，当加强套的长度超过 3 m 时，安装就会变得十分困难。补强内腐蚀缺陷，安装时必须处理好与焊缝的结合部位，确保套筒与管体的紧密结合，同时必须严格按照安装工艺谨慎焊接，尽量减少焊接可能造成的潜在风险。

环氧结构原理及特点是环氧树脂钢壳复合套管 (简称环氧套管) 主要用于各类在役钢质管道缺陷的永久性修复。方法是环氧套管的钢壳宽松地套在钢管外壁上，与管道保持一定环隙，环隙两端用胶封闭，再在此封闭空间内灌注环氧填胶，构成复合套管，对管道缺陷进行补强 (见图 1)。

夹具注环氧修复技术是一种不停止传输的状态下进行的管道缺陷修复技术，可修复钢管上的各类缺陷。传统的修复方法是紧贴钢管外壁直接焊接钢套管对缺陷进行补强，操作困难且风险较大，对弯管和外形不规则的管段，常因难以操作而只好更换。

定稿日期: 2015-03-04
作者简介: 孙洪，男，1963 年生，工程师
通讯作者: 孙洪，E-mail: hbczsh@126.com，研究方向为阳极保护
DOI: 10.11903/1002.6495.2015.057



环氧钢壳复合套管基本可以解决这些难题，并有利于有效抑制内腐蚀过程的破坏，实现了不停输情况下管道本体缺陷的长久修复。

夹具注环氧与传统工艺的钢套管焊接的区别在于，后者需要很高的操作技能。在运行的管道上焊接本身就是一项细致的工作，而在内外腐蚀已经变薄的管壁上焊接需要更高的技术要求。前者无需在管壁上直接焊接，操作过程技术要求不高；后者焊接前需进行复杂的计算和实验，通常要借助计算机，费时费力。焊接过程中的管壁温度超过熔点会发生"熔穿"，而管壁温度是管内介质种类、压力、流速、温度和管外气温、风速、湿度、气压的多元函数，其计算相当繁杂。焊接热还可能使管内介质汽化导致内压升高，加之焊接过程中管壁强度大为降低，从而发生"爆管"。对于一些热敏介质，还要严防焊接热导致介质变质。前者无需在管壁上直接焊接，无热操作风险；后者焊接前为防止发生带压流体泄漏的灾难事故，往往要求管道减压运行，对正常的生产造成较大的影响，同时要求焊接钢套管紧贴钢管外壁，对弯管等异型管段和有较高焊缝的直管上的缺陷，由于无法制备合适的钢套管而无法修复，需整段更换，而前者与管道间的间隙可在相当大的范围内调整，并不影响其性能。

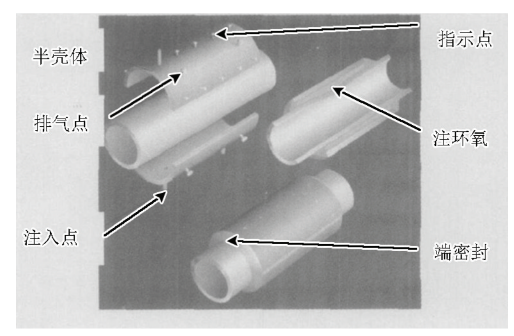


图1 环氧钢壳复合套管结构示意图

对于内腐蚀造成的管壁减薄，后者无法阻止腐蚀的继续进行，有时钢套管又很快减薄，需要再次修复，而前者在管壁腐蚀穿孔后由环氧填胶接触腐蚀介质，环氧填胶耐化学性极好，可使腐蚀得到彻底抑制[4]。相比之下夹具注环氧修复技术更具优势。

管道受外界破坏而导致的盗油孔修复也是一项技术难题，管道盗油孔修复之前，首先要被封住，然后进行修复。当内压较小不会破坏被堵的盗油孔时，内压对焊帽的影响不大。内压造成盗油孔处应力集中，当内压增大到一定程度，盗油孔处将屈服破坏，发生管内流体泄漏，从而使焊帽处承受内压作用，如果焊帽发生破坏泄漏，管道将会被破坏漏油，需严格预防[5]。盗油孔支管没有破坏时，管道内流体没有泄漏到修复焊帽中，焊帽应力受内压影响小，当盗油孔破坏，焊帽承受内压作用时，则必须分析焊帽顶部的焊接，各种盗油孔缺陷的修复方法可以通过有限元计算得出参考结果。

通过有限元方法计算可以发现，各种盗油孔缺陷修复后焊接残余应力对管道本体有着很大的影响，焊接区都是高应力的危险区，容易成为破坏源。焊接区以外也可能出现高应力区，柱形焊帽(顶部没焊接) 顶部中心以及焊帽柱内壁与顶部接触处也产生了较高的应力。由于材料本身的缺陷或者制造缺陷，结构破坏不一定发生在最大应力处，各高应力区都是容易破坏的危险区，所以高应力区越多，结构越不安全。表1对各修复方式进行

表1 盗油孔缺陷修复方法对比分析

修复方法	最大Mises应力 MPa	最大Mises 应力位置	高应力危险区	危险区最大Mises 应力 / MPa
柱形焊帽(顶部焊接)	439	焊帽顶部中心	1、焊帽顶部中心 2、焊帽顶部焊接区 3、焊帽柱内壁靠近顶部处 4、焊接修复焊缝区	1、439 2、408 3、429 4、409
柱形焊帽(顶部不焊接)	441	焊帽顶部中心	1、焊帽顶部中心 2、焊接修复焊缝区 3、焊帽柱内壁靠近顶部处	1、441 2、435 3、428
补板	423	焊接修复根部	焊接修复根部(焊缝与管体接触处)	423
半球形焊帽	411	焊接修复根部	焊接修复根部(焊缝与管体接触处0	411

了比较，可以看出，相同压力下，半球形焊帽修复方法的焊接残余Mises应力最小，危险区数量最少，结构相对最为安全，因而采用半球形焊帽的缺陷修复方式最为适合。

3 结语

由于在役管道的腐蚀、盗油孔、裂纹等缺陷的形成原因较为复杂，对此开展了持续的研究工作，通过对在役管道腐蚀机理的形成、盗油孔、裂纹等缺陷技术的修复分析，得出管道本质安全不同缺陷状态下的控制方法，为在役管道腐蚀与防护方案提供了借鉴。

参考文献

[1] 叶帆, 杨伟. 塔河油田集输管道腐蚀与防腐技术 [J]. 油气储运, 2010, 29(5): 354

[2] 卜文平, 帅健, 王晓明, 张劲军. 打孔管道焊接修复结构的残余应力测试 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2006, 30(3): 81

[3] 帅健, 王晓明, 卜文平. 打孔管道焊接修复结构承压能力的全尺寸实验评价 [J]. 石油学报, 2007, 28(6): 133

[4] 杨丽霞, 李晓刚, 程学群等. 水、氯离子在丙烯酸聚氨酯涂层中的扩散传输行为 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2006, 26(1): 6

[5] 高安东. 管道盗油孔缺陷焊接应力及修复方法的优化分析 [J]. 石油化工安全环保技术, 2013, (1): 33

